

PROCESAMIENTO Y USO DE RESIDUOS ORGÁNICOS*

Peter Hirsch-Reinshagen y Andreas Gronauer

Resumen

Se examina globalmente el procesamiento y uso de residuos orgánicos. En la primera parte del estudio se aborda el ciclo vital y la composición de los residuos. Se presentan las estrategias de reducción y las etapas de su desarrollo contemplando las técnicas para el manejo de los residuos orgánicos en la agricultura. Se describe el proceso de compostaje y la evolución de las temperaturas generadas en este proceso. Se comparan las técnicas y procedimientos de compostaje de productos agrícolas. Finalmente, se presentan las normas y criterios de calidad del compost terminado.

Palabras claves: residuos orgánicos, compostaje, agricultura.

CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	587
CICLO VITAL.....	587
ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN.....	588
ETAPAS DE DESARROLLO.....	589
TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	590
PROCESO DE COMPOSTAJE.....	592
TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS.....	594
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS.....	596
CALIDAD DEL PRODUCTO.....	598
NORMAS Y CRITERIOS DE CALIDAD.....	599
BIBLIOGRAFÍA.....	600

INTRODUCCIÓN

En el Antiguo Testamento, en el Génesis se establece que se le encarga al hombre recién creado llenar la tierra, sojuzgarla y señorear sobre los peces del mar, las aves, las bestias, las plantas y los árboles. Si bien esta cita le es común a aquellos que profesan la Fe cristiana, no es errar demasiado afirmar que conceptos similares a éstos se encuentran en otras religiones, incluyendo a aquellas que a veces con desdén, el hombre blanco llama "religiones de los primitivos". Cabe señalar, sin embargo, que estos pueblos viven y han vivido en mejor concordancia con lo que hoy la ciencia moderna llama desarrollo sustentable.

Se puede observar entonces que todos los componentes de aquello que hoy se denomina medio ambiente ya se mencionaba en el libro que describe la Creación. Vale la pena detenerse a analizar qué ha sucedido con estos componentes desde entonces hasta ahora. El aire, el agua, algo de la tierra, algunos animales y algunas plantas aún existen, pero la pregunta es: ¿cómo?; ¿en qué estado?; ¿cómo ha interpretado el ser humano este mandato en la época

más reciente y qué consecuencias ha tenido esta interpretación?

Para vastos sectores de América Latina sería de importancia plantearse en este contexto, además, tres preguntas básicas, que están íntimamente ligadas a una gestión sustentable del medio en que se vive. Éstas son: ¿Por qué proteger el medio ambiente? ¿Qué sentido tiene? y ¿Por qué reciclar?

CICLO VITAL

Si se analiza el comportamiento de la naturaleza, se puede observar que todos los fenómenos que ocurren, se desarrollan en forma de ciclos, íntimamente interrelacionados; cambios que en alguno de ellos trae necesariamente consecuencias en uno o varios otros. El ser humano es parte de este ciclo vital, pero su actividad, corta o destruye varios de estos ciclos produciendo a menudo daños irreparables (Figura 1).

Son familiares las imágenes que muestran ciudades bajo el smog, suelos gravemente erosionados e infértiles y cursos de agua transformados en cloacas. La razón de este desarrollo radica, básicamente, en el hecho que la evaluación de las metas económicas no ha considerado la valoración de las consecuencias sobre los recursos naturales. No se ha considerado, por lo tanto, el valor económico potencial a futuro para las generaciones siguientes. Teniendo como trasfondo los conocimientos que se tienen hoy en relación con el concepto de impacto ambiental, es que se debe considerar en el contexto presente la cita bíblica que se presentó previamente. El ser humano como rector de la Creación tiene la tarea del regente sabio frente a sus súbditos. El conocimiento de las relaciones y necesidades de la población ha crecido continuamente. Se ha llegado al punto de reconocer claramente, que si no se afrontan ciertas tareas, se destruirá en forma sucesiva la base de la existencia humana, ya que la naturaleza reacciona y se regula por sí misma, a menudo en forma no reversible y en sentido distinto al

* Hirsch-Reinshagen, P. y A. Gronauer. 2002. Procesamiento y uso de residuos orgánicos. En: Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aránguiz. Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

de los intereses de la población. Las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida para la existencia de las generaciones futuras ya no van a existir. Las primeras señales alarmantes en relación con el deterioro de las condiciones de salud y de los costos que se derivan de un manejo con impacto negativo en el medio ambiente ya se pueden reconocer en forma clara y, en parte, ya se pueden evaluar económicamente. En este contexto se esbozan algunas respuestas a las preguntas formuladas con anterioridad.

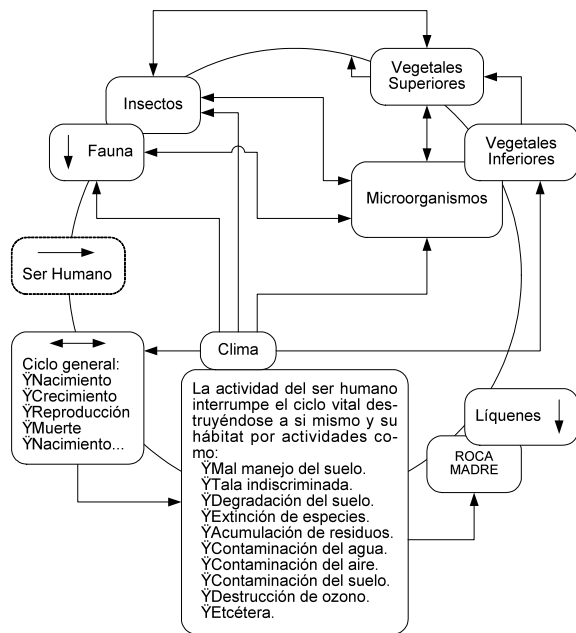


Figura 1. Ciclo Vital (Los Autores)

Reciclar no es más que volver a aprovechar residuos producidos por la actividad humana, que se califican como no aprovechables, que tienen un impacto negativo o destructivo sobre la naturaleza, permitiéndose así el uso eficiente de recursos materiales y energéticos.

La situación presente se puede resumir de la siguiente manera:

- La naturaleza desarrolla todos sus procesos en forma de ciclos interconectados, no dejando residuos.
- El hombre interrumpe estos ciclos, usa los recursos naturales y los transforma produciendo otros productos no aprovechables llamados residuos.
- La acumulación de éstos, afecta la naturaleza en forma severa con daño para el mismo ser humano.
- Si se desea mantener los recursos en estado saludable, se deben evitar los daños, por lo cual se requiere reutilizar los residuos.

El análisis de la composición de los residuos domiciliarios de más del 50% de la ciudad de Santiago (actualmente con más de 5 millones de habitantes)

indica que el 49% de las 4.500 toneladas de desechos corresponde a sustancia orgánica, en tanto que aproximadamente un 33% está compuesto por otros materiales reciclables (vidrio, metal, papel y cartón). O sea, un 82% del total del volumen que va a vertedero puede ser aprovechado de una u otra forma (Figura 2) (KIASA, 1999).

En otros países como Alemania, se ha podido observar un cambio radical en el aprovechamiento de los residuos desde los años 1988 en adelante y, es así como en el año 1998 se está reciclando un 72% de los residuos (Bayern-Agenda 21, 1999).

Argumentos económicos opuestos a las afirmaciones hechas hasta aquí, debieran ser revisados en profundidad para reconsiderar las evaluaciones económicas empleadas, ya que podrían no estar completas o estar concebidas en un horizonte temporal breve. Cabe preguntarse entonces si es económico seguir actuando como hasta ahora, o es preferible cambiar la estrategia realizando evaluaciones económicas a más largo plazo, incluyendo la internalización de costos externos, tal como los costos de salud de la sociedad.

ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN

Las causas expuestas hasta aquí han llevado a diversos países, en especial los europeos, a establecer políticas para reducir el volumen de los residuos, que por no tener aprovechamiento inmediato van a vertedero. Así, en el Estado de Baviera, que se puede considerar pionero en este aspecto, se dictó en 1991 una ley que regula tanto el manejo de los residuos como también el de los vertederos ya cerrados. En el Artículo 1 se establecen los principios que sustentan esta materia, cuyos objetivos son:

1. Reducir al máximo la producción de residuos (evitar los residuos).
2. Evitar o reducir la presencia de sustancias tóxicas en los residuos (minimizar los elementos tóxicos).
3. Reinsertar en el ciclo de aprovechamiento de los elementos con especial énfasis los siguientes: vidrio, papel, metal, plásticos, materiales de construcción y sustancias compostables (aprovechamiento de residuos).
4. Los elementos residuales que no se puedan aprovechar, deben ser tratados de manera tal que no produzcan un impacto negativo. El tratamiento térmico es aceptable sólo para aquellas sustancias que hayan agotado sus posibilidades de procesamiento señalados en los puntos 1 a 3 (tratamiento de residuos).
5. Los residuos que no se puedan aprovechar, o no puedan ser tratados, deben ser depositados,

evitando que se produzca un impacto negativo (deposición de residuos).

Esto implica en otros términos que:

- Los residuos orgánicos deben ser reaprovechados preferentemente en su forma elemental.
- El uso como fuente térmica se permite sólo si no es reaprovechable en forma elemental.
- No se permite la deposición de residuos orgánicos en vertedero.

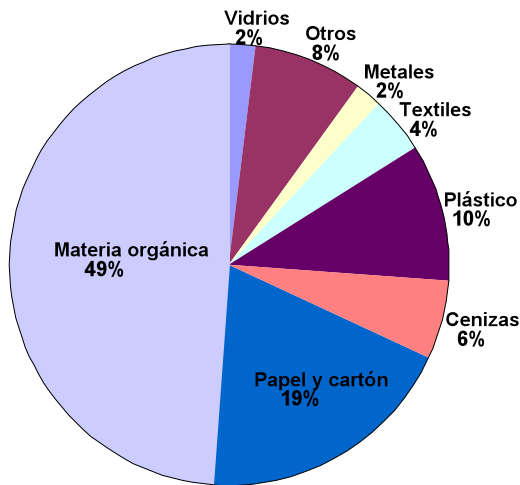


Figura 2. Composición media de los residuos en Santiago según la empresa recolectora KIASA (1999)

- Un aprovechamiento adecuado elemental (N, P, K, Ca, etc.) se puede realizar en el mediano y largo plazo sólo en “superficies productivas” (agrícolas).
- La agricultura y la jardinería juegan un papel esencial como demanda de los productos señalados, dado que aquí son reinvertidos en los ciclos biológicos.

No debe olvidarse, sin embargo, que estos procesos también producen algunos problemas, que deben considerarse en su manejo.

- En la compostación
 - Producción de malos olores, emisiones y efluentes.
 - Calidad del producto terminado (compost).
- En el uso
 - Adición de tóxicos y sustancias extrañas que no son compatibles con las condiciones biológicas.
 - Debe considerarse el aporte de nutrientes de los compost al hacer el balance de fertilización.
 - La acción fertilizante del compost es distinta a la de los abonos minerales, influyendo en la rotación de cultivos.
- En el ámbito comunal esta política debe tender a reducir también la cantidad de residuos producidos en su mismo origen. Una de las maneras de lograrlo es por medio del incentivo o de restricciones económicas (Bayern-Agenda 21, 1999).

ETAPAS DE DESARROLLO

En términos generales el desarrollo de una estrategia para el manejo de residuos debe contemplar, entre otros, los siguientes puntos (Cuadro 1):

- Evaluación del potencial de la demanda.
- Definición de las áreas de aplicación.
- Definición de los criterios de calidad de los productos (químicos, físicos, biológicos y de higiene).
- Evaluación del potencial económico que representa el aprovechamiento de estos productos incluyendo la internalización de los costos externos.

Cuadro 1. Etapas de desarrollo en el manejo de residuos orgánicos

Nº	Etapas	Meta	Requerimientos
1	Estimación del uso potencial.	Estimación del volumen usable.	Definir diferentes tipos de uso.
2	Estimación de criterios para el producto.	Diversificación del producto para diferentes usos.	Definición de criterios e instalación de sistemas para control de calidad.
3	Estimación de la estructura regional en la generación de residuos.	Establecimiento de las técnicas apropiada para generar los diferentes productos.	Evaluación de las técnicas.
4	Estimación de la composición de diferentes residuos.	Evaluación del material original adecuado para el proceso y calidad de producto.	Definición de parámetros para normar el proceso y contenido de sustancias del producto.
5	Estimación de la técnica adecuada de tratamiento.	Base de datos para planificar capacidad y ubicación de las plantas.	Cartografía del tipo de los residuos, cantidad y ubicación.
6	Estimación del efecto económico de uso del producto y de la reducción de residuos.	Comparación con otras formas de tratamiento de residuos o su eliminación.	Inclusión de diversas áreas y niveles económicos para una estimación completa basada en la situación regional.
7	Estimación de todos los beneficios económicos (incluyendo los costos externos del no uso de los residuos).	Declaración del beneficio de los sistemas de manejo de residuos.	Calidad de los antecedentes (datos) y confiabilidad.
8	Planificación de instalaciones para recolección y tratamiento de residuos y distribución de productos.	5 +6: estimación de la optimización de la eficiencia.	Planificación por un ingeniero o constructor independiente.

Fuente: Los Autores

- Definición de los criterios de calidad de los residuos.
- Evaluación de los productos desde el punto de vista socioeconómico.
- Planificación de las instalaciones de tratamiento.

Estos pasos, dan la base para procesos que garantizan una alta calidad del producto, técnicas adecuadas, una implementación regional adecuada relacionada con los requerimientos locales y una distribución y uso del producto en el largo plazo.

sólo dañan el medioambiente (Cuadro 2). Es posible concluir que la cantidad de subproductos es más grande que la de aquellos que se pueden denominar materia prima. Muchos de ellos son aprovechables en forma directa como alimentos para animales; pero existe una gran cantidad que no tienen un uso directo.

Los residuos orgánicos pueden ser destinados a diversos fines tal como:

TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

En términos generales, se pueden definir tres grandes fuentes productoras de residuos:

- La industria, (química, metal-mecánica etc.).
- Los centros urbanos.
- La agricultura y sus industrias elaboradoras anexas.

En este contexto hay que detenerse y analizar lo que realmente significan los términos “agricultura” e “industria forestal”. Para la mayoría, siempre han significado una actividad centrada en la producción de un bien agrícola destinado a servir como alimento o ser de utilidad para las actividades del hombre tal como: leche, queso, mantequilla, carne, papas, verduras, harina, arroz, tablas, madera prensada, celulosa, etc. Pero a este discurso nunca se ha completado la idea, que con ello no sólo se está interviniendo severamente la naturaleza, por ejemplo, al producir en sistemas de monocultivos, o al derribar un bosque nativo con toda su vida interior, sino que, además, se están produciendo grandes cantidades de residuos, que hasta hoy en muchas partes del mundo

- Alimentos para animales.
- Alimentación humana.
- Reemplazo de fuentes de energía.
- Reemplazo de materia prima.
- Reinserción en el ciclo productivo.

Cuadro 2. Producción de bienes y residuos relacionados con el ámbito agrícola

Algunos Bienes Producidos	Algunos Residuos
Leche	Envases de leche (tetrapack)
Queso	Leche descremada
Mantequilla	Suero de leche
Carne	Diversos lodos industriales
Papas	Agua de limpieza
Verduras	Grasa
Harina	Sangre
Uva	Contenido intestinal
Vino	Fecas
Arroz	Orina
Tablas	Cáscara de arroz
Madera prensada	Harinilla
Celulosa	Afrechos
Pescado	Barrido de panadería
Cerveza	Residuos de mercado
	Aserrín

Prod. químicos para blanqueo de
 Papel
 Envases
 Pesticidas
 Orujos
 Levadura
 Cabezas de pescado
 Colas y aletas de pescado
 Intestinos de pescado
 Espinas de pescado
 Olores
 CO₂
 Gases con azufre
 Gases con nitrógeno

Fuente: Los Autores

Para poder darle una terminología conocida y común, es necesario revisar el significado que tienen en este contexto algunos términos de uso frecuente en este trabajo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Definición de términos

Término	Definición
Residuo orgánico domiciliario.	Fracción orgánica de la basura domiciliaria.
Material verde.	Residuos vegetales puros.
Compostación.	Degradación microbiológica aeróbica de materia orgánica.
Fermentación.	Degradación microbiológica en ambiente anaerobio de materia orgánica.

Fuente: Los Autores

Cabe señalar, que, en términos generales en América Latina no se concibe aún la posibilidad de compostar la basura domiciliaria y transformar de esa manera un residuo hasta ahora inútil, en un recurso. Las razones son principalmente de carácter higiénico y de salud pública. Estos criterios ya han sido abandonados en los países industrializados por razones fundamentadas, los que se indican más adelante. Es por ello que cuando en este documento se menciona “material orgánico”, se desea señalar indistintamente a los productos provenientes de podas de árboles, o basura domiciliaria seleccionada en origen.

Se hace pues necesario analizar cómo se puede reinsertar en el ciclo productivo sustancias que hasta ahora no tenían destino. En la práctica se consideran básicamente dos formas de tratar los residuos orgánicos, si se excluye su uso como alimento. El tratamiento microbiológico en condiciones aeróbicas con la finalidad de producir un fertilizante orgánico y el tratamiento microbiológico en condiciones anaeróbicas (Figura 3). Depende entonces de la composición del material original, el proceso donde se pueda convertir un residuo en forma más eficiente en un recurso útil y valioso.

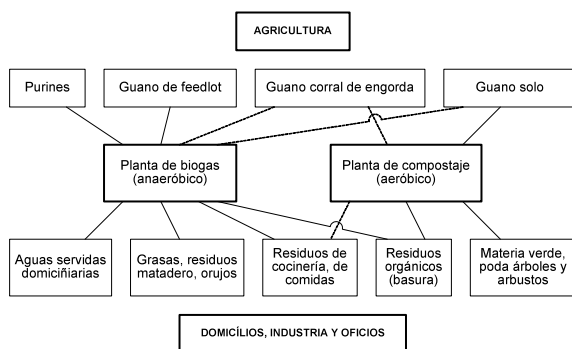


Figura 3. Tratamiento de residuos orgánicos en la agricultura (Helm, 1995)

Como alternativa a lo señalado, se piensa con frecuencia en la compostación en forma privada en la casa o en la incineración de los residuos. Estos sistemas presentan algunos problemas o inconvenientes que son los siguientes.

En la compostación privada (casera):

- Dudas en el ámbito de la higienización, debido a falta de mezclado y calentamiento apropiado, junto a la presencia de insectos no deseables.

- Bajo potencial de aplicación en sectores urbanos.
- Input continuo en el sistema “jardín” lo que lleva a una fertilización excesiva.

En el caso de la combustión:

- Contradice las normas establecidas en la ley en ciertas localidades.
- Costos elevados.
- Poco aceptado por la población.
- Emisión de compuestos tóxicos.

PROCESO DE COMPOSTAJE

Durante el proceso aeróbico de compostación, intervienen microorganismos termófilos, en su gran mayoría bacterias, actinomicetes y hongos, que necesitan oxígeno y humedad, degradan las proteínas, aminoácidos, lípidos y carbohidratos formando vapor de agua, CO₂ y liberando energía en forma de calor, alcanzando temperaturas de 65° C durante 10 a 20 días (Figura 4).

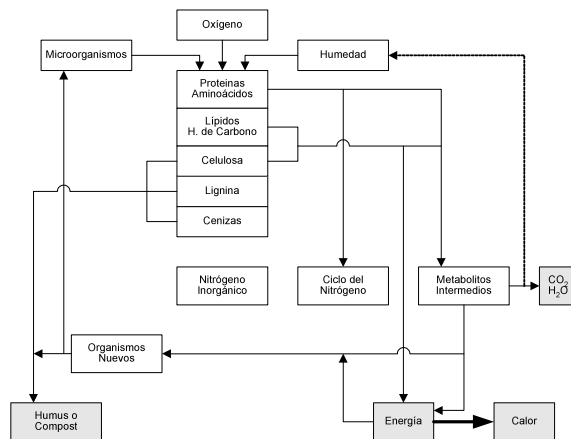


Figura 4. Proceso de compostación (Gray, Sherman y Biddlestone, 1971)

Si se examina la curva de temperatura normal que se desarrolla dentro de una pila de compostación, se puede observar diferentes fases (Figura 5):

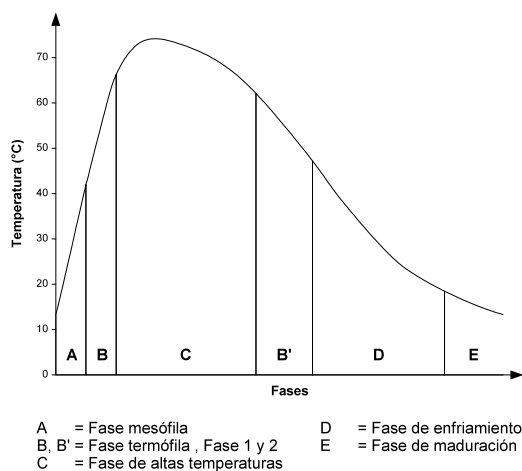


Figura 5. Representación esquemática de la secuencia de temperaturas durante la compostación (Pfiter *et al.*, citado en Bilitewski, Härdtle y Marek, 1990)

- Fase mesófila de iniciación. Se inicia en el momento de hacer la pila, con una temperatura que corresponde a la temperatura ambiente.
- Fase termófila. Se repite dos veces y corresponde aproximadamente al rango de temperaturas entre los 40 y 60° C.
- Fase de alta temperatura. Cuando ésta se alza más allá de los 60° C, pudiendo en algunos casos llegar hasta los 75° C.
- Fases de enfriamiento y maduración. Donde la temperatura baja y las poblaciones mesófilas, formadas principalmente por actinomicetes y hongos, sintetizan sustancias de alto peso molecular como el ácido húmico y otros, que son los principales componentes del humus y de los nutrientes vegetales. Su cantidad dependerá de la mezcla de materiales al inicio del proceso.

La cantidad de microorganismos presentes en el material, varía a medida que cambian las temperaturas. Así se observa que los hongos, dependiendo si son termófilos o mesófilos, se presentan en cantidades distintas y en oportunidades diferentes a lo largo del tiempo. En el caso de los actinomicetes la curva es algo distinta, siendo su presencia más constante a lo largo del tiempo (Figura 6).

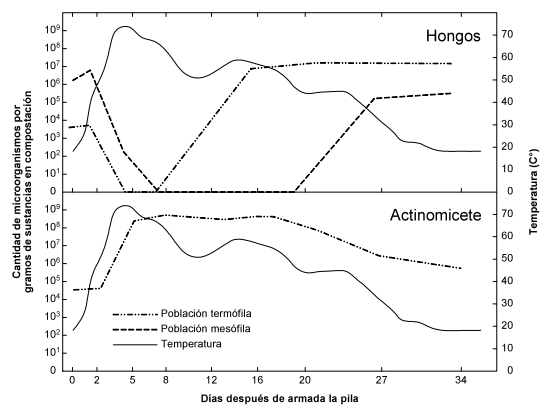


Figura 6. Cambios en la población microbiana activa al compostar paja de trigo (Gray, Sherman y Biddlestone, 1971).

El proceso aeróbico es influido por varios factores o variables (Figura 7):

- La materia prima puede variar en su composición debido a variables tales como: su origen, forma de obtención, sustancias extrañas que pueda contener, época del año, etcétera.
- El manejo técnico, puede variar debido a factores como frecuencia en que se realiza y tipo de operación.
- El clima es una variable con una influencia limitada. Sólo las precipitaciones pueden tener una influencia sobre el desarrollo de los procesos microbiológicos en el interior de las pilas. El exceso de humedad puede inhibir el normal desarrollo de los microorganismos. Las temperaturas externas y el viento no afectan en forma significativa los procesos si se cuida el manejo técnico.
- El tiempo es un factor fundamental, dado que los procesos microbiológicos se desarrollan con su propia dinámica. Como todo proceso natural, puede ser sometido a ciertas variaciones por medio del manejo que se haga de la pila.
- Durante el proceso se producen algunas emisiones tanto gaseosas como líquidas, producto de las transformaciones realizadas por los microorganismos.

Las variables descritas, dan como resultado un producto denominado compost, que no es otra cosa que humus, pero con una variedad de ingredientes y que posee ciertas características, entre otras, que es un producto higienizado, siempre que haya permanecido más de 10 días sobre 55° C.

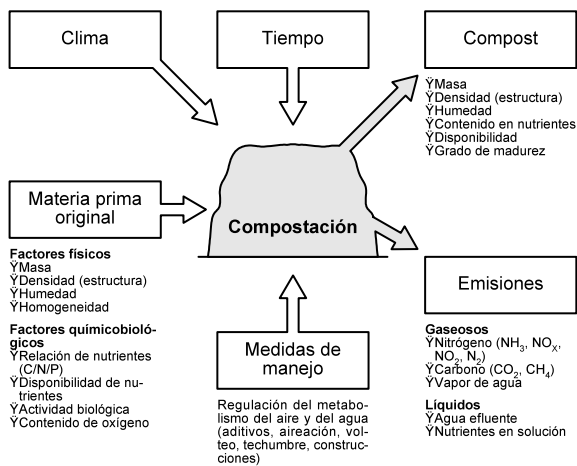


Figura 7. Factores que influyen sobre la compostación (Helm, 1995)

Las emisiones están compuestas básicamente por:

- **Emisiones sólidas:** esporas de hongos
- **Emisiones líquidas:** agua percolada y condensado de vapor de agua
- **Emisiones gaseosas:** componentes inorgánicos (CO_2 , NH_3 , CH_4 , H_2S , N_2O) y olores.

En el conjunto de emisiones gaseosas, los olores son causantes de problemas que pueden llegar a ser graves, dependiendo de la ubicación de las pilas de compostaje. La complejidad de este impacto depende de los siguientes factores:

- Intensidad (concentración).
- Calidad.
- Potencia de la fuente.

Debe señalarse, sin embargo, que un compost bien hecho, sobre todo si no contiene residuos orgánicos domiciliarios, no debe emitir olor.

TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS

Por razones económicas y eventualmente también climáticas, se puede afirmar que, en general, el sistema que mejor se adapta a las condiciones de Latinoamérica es el de pilas, ya sea al aire libre, o bien bajo techo, si la pluviometría es alta (Helm, 1995) (Figura 8).

Es frecuente que en la industria en procesos biológicos se usen inoculantes para hacer más eficientes o más rápido el desarrollo de los procesos. Esta situación también se ha estudiado en el caso el compost (Helm, 1995) (Figura 9).

Diversos estudios realizados concuerdan con los resultados que se muestran, en el sentido que la adición de un inoculante, ya sea producido en forma específica para la elaboración de compost o se use compost estabilizado, no tiene una influencia relevante

en él, la velocidad del desarrollo del proceso. Es de importancia considerar que los microorganismos al interior de las pilas tengan suficiente oxígeno, ya que se trata de un proceso puramente aeróbico (Figura 10), (Helm, 1995).

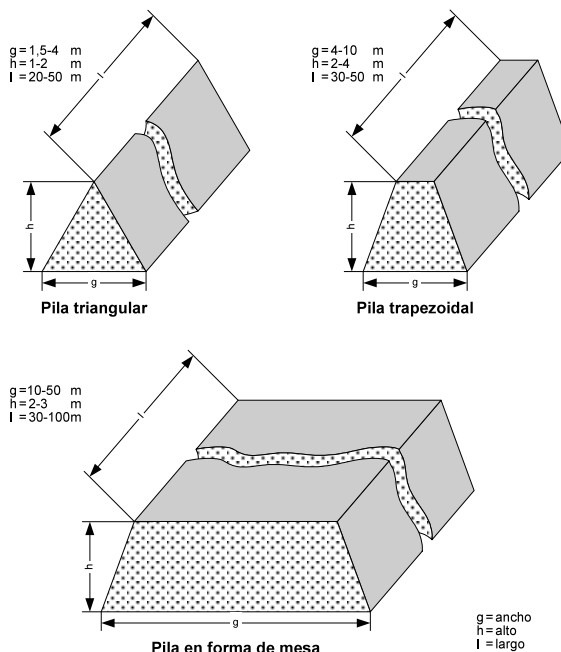


Figura 8. Diferentes formas de pilas (Helm, 1995)

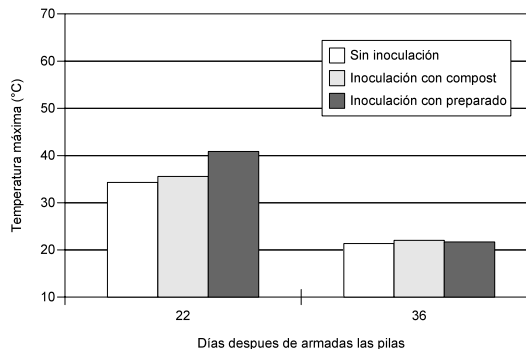


Figura 9. Desarrollo de la compostación en pilas con diferentes aditivos (Helm, 1995)

Los resultados indican que si bien a los 22 días existían diferencias marcadas, a los 36 días se había logrado un nivel de madurez casi idéntico en aquellas pilas que contenían más de 20% de material estructural. Esto se explica por el nivel de material estructural de la mezcla, lo que permite una oxigenación adecuada del material en proceso.

En la Figura 11 se presenta un esquema de las partes que componen una planta de compostaje con una capacidad anual de 1.000 toneladas al año, en la que se procesa tanto materia verde como residuos domiciliarios. Se pueden identificar claramente las zonas de recepción y preparación del material, la zona de compostaje o proceso y por último el sector de almacenaje y despacho. En cada sector se ha indicado

las funciones que cumple cada uno de los elementos. Este tipo de planta es ideal para solucionar el problema del tratamiento de la basura domiciliar, especialmente en áreas rurales, donde el compost obtenido a partir de materia prima debidamente seleccionada, puede ser altamente beneficioso en el mejoramiento de la condición y fertilidad del suelo.

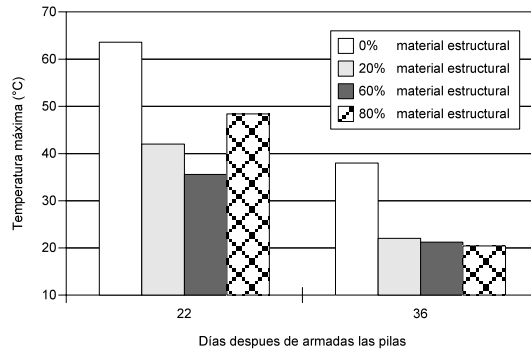


Figura 10. Desarrollo de la madurez en pilas con diferentes materiales estructurales, medida sobre la base de la temperatura máxima en el test de autocalentamiento (Helm, 1995)

Los pasos a seguir en la producción de compost, se han esquematizado en la Figura 12.

Se puede observar dicho gráfico que una gran parte de ella está ocupada por la selección manual de sustancias extrañas. Este trabajo debería realizarse sólo en condiciones específicas, como en el caso de residuos domiciliarios, donde es de importancia. Sin embargo, en el caso de material verde procedente de poda o de jardines y que no ha sido mezclado con otros residuos, puede no ser necesario.

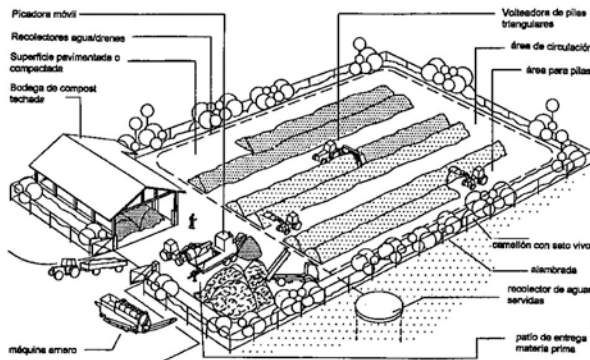


Figura 11. Esquema de una planta de compostaje con pilas al aire libre (Boxberger, Popp y Pellmeier, 1997)

En un estudio hecho en residuos de distinta pureza, se puede comprobar que efectivamente la reducción de sustancias extrañas es muy marcada, aun en aquellos sectores en los que se hace selección en origen de los residuos (Figura 13).

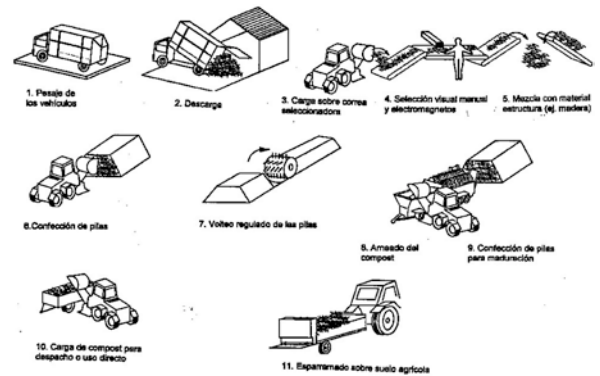


Figura 12. Esquemización del proceso de compostación (Boxberger, Popp y Pellmeier, 1997)

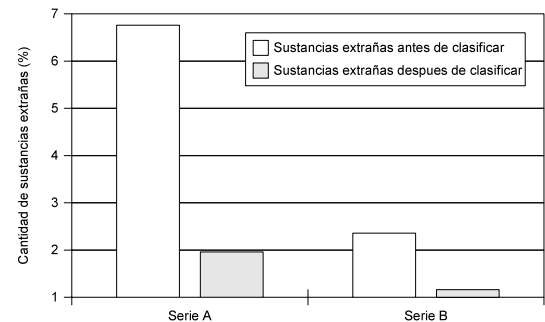


Figura 13. Comparación de la cantidad de sustancias extrañas en residuos orgánicos domiciliarios antes y después de clasificar (Helm, 1995)

Cada uno de estos diferentes pasos tiene finalidades específicas, las que se pueden sistematizar en la forma descrita en el Cuadro 4.

El volteo del material sirve para su mezclado, triturado, homogenización y corrección del nivel de humedad si es necesario. Dependiendo del material en uso, se produce una cierta emisión de olores, la que a su vez depende de la frecuencia con que se volteen las pilas.

En la Figura 14, se observa que la intensidad más alta de producción de olores fue cuando la pila se volteaba cada 3 días, siendo mínimo cuando se volteaba cada día. La razón radica en el hecho que los malos olores se producen en condiciones de fermentación anaerobia. Al voltear cada día se impide la compactación natural y por ende la formación de olores.

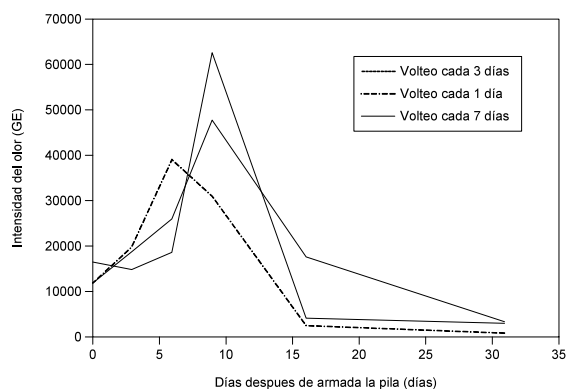


Figura 14. Emisión de olores en pilas según frecuencias de volteo (Helm, 1995)

Si una autoridad local o regional decide instalar una planta de compostaje, debe tener respuesta a algunas interrogantes más importantes que se han resumido en el Cuadro 5, antes de dar algún paso equivocado, que puede significar grandes inversiones que posteriormente no prestan utilidad alguna.

Cuadro 4. Metas de las intervenciones tecnológicas en el flujo elemental de la compostación

Flujos de los elementos (compuestos) materia				
Materia Prima Materiales verdes, residuos orgánicos, nutrientes, estructura, tóxicos, sustancias extrañas	Compostación		Compost	Emisiones líquidas • Líquido efluente • Condensación Emisiones gaseosas • CO ₂ ; CH ₄ • NH ₃ ; NO ₂ • Olores
Posibilidades de técnicas de manejo				
Acondicionamiento	Manejo del proceso	Confección	Recolección de efluentes	Purificación del aire
<ul style="list-style-type: none"> • Pesaje • Clasificación • Aventado • Arneado • Picado Picadora	<ul style="list-style-type: none"> • Forma y tamaño de pilas • Duración del tratamiento • Volteo • Aireación • Humedad • Tapado Volteadora de pilas	<ul style="list-style-type: none"> • Arneado • Aventado • Separación del Fe • Mezclado Máquina arneadora	<ul style="list-style-type: none"> • Estanques Estanque recolector	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de aire • Biofiltro Biofiltro
Metas Optimización de la composición.	Optimización de: <ul style="list-style-type: none"> • Condiciones aerobias • Tasa de degradación • Calidad del compost • Influencia del invierno 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del producto • Minimizar sustancias tóxicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Impedir la lixiviación de efluentes a napas subterráneas o superficiales 	<ul style="list-style-type: none"> • Desodorización de emisiones gaseosas • Reducción de emisión de gases dañinos

Fuente: Los Autores

Cuadro 5. Planificación y evaluación de plantas de compostaje

Item	Pregunta
Determinación de las cantidades potenciales	¿Cuál es la proporción de material verde (y residuos de cocina) en la basura domiciliaria (variación anual)? ¿Qué cantidad de materia verde se recolecta en forma separada? ¿Cuál es la cantidad de residuos de mercado (ferias libres)?
Levantamiento de datos para la planificación	¿Cuáles son los lugares más apropiados? ¿Cuáles son los costos de pavimentación o compactación de suelo, personal y tecnología? ¿Cuánto cuesta la recolección, transporte y depositación en vertedero? Determinación de la calidad de la materia prima para compostaje
Proyecto de la planta	Tamaño Técnica a ser usada Lugar Descripción del proceso y garantía de calidad Cálculo de costos

Fuente: Los Autores

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS

Los residuos se originan en los parques, jardines, domicilios particulares, fábricas y en la agricultura en el sentido amplio de la palabra tal como se definió

previamente. En el esquema se representa solamente el domicilio particular como fuente, por ser junto con un sector de la agricultura, los únicos productores de residuos, que permiten un reaprovechamiento por el mismo productor del residuo. En el caso de la casa particular, podría usarse en el mismo jardín, al igual

que el agricultor podría usar sus residuos en la fertilización de su propio campo.

Sin embargo, se debe recordar que estas fuentes también producen residuos con alto contenido de agua, que no pueden ser aprovechados en buena forma en el compostaje.

Mucho se ha dicho hasta el momento sobre el origen, razones y formas de reciclar, su proceso y técnicas, sin que se haya mencionado cuáles son, si es que los hay, los beneficios en el uso de compost. Estas ideas se han sintetizado en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Efectos positivos del compost en la producción vegetal, especialmente en climas semiáridos y suelos arenosos

Condición	Potencial positivo del compost
Estabilidad de la estructura del suelo	Protección contra erosión. ↑
	Capacidad de retención de agua. ↑
	Masa radicular. ↑
	Actividad radicular. ↑
Contenido más alto de humus en el suelo	Actividad microbiana. ↑
	Fertilidad de suelos. ↑
	Resistencia a la sequía. ↑
	Resistencia a enfermedades de plantas. ↑
Fertilización orgánica	Rendimiento potencial. ↑ Cantidad de fertilizante orgánico. ↓↓

Fuente: Los Autores

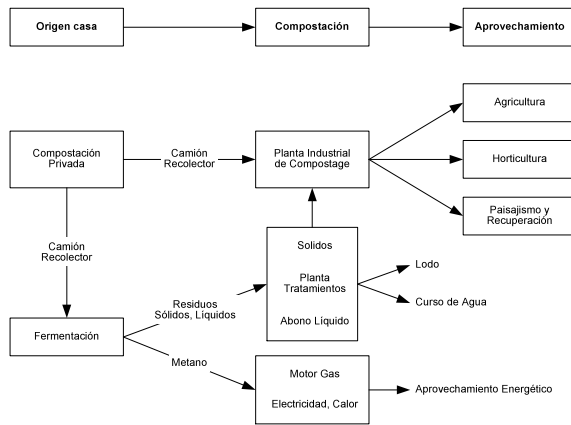


Figura 15. Alternativas de tratamiento y aprovechamiento de residuos orgánicos (Boxberger, Popp y Pellmeier, 1997)

Para tener una idea aproximada de si se debe o no incluir al compost en el grupo de los productos denominados fertilizantes, se establecen algunas comparaciones en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Contenido en nutrientes de residuos orgánicos domiciliarios en comparación con fertilizantes de origen pecuario

	Contenido en nutrientes (masa %)		
	N _t	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fertilización orgánica			
Compost de residuos orgánicos domiciliarios	1,5	0,7	1,0
Fecas líquidas (purines, vacuno)	0,35 - 0,45	0,15	0,6
Fecas sólidas (vacuno)	0,5	0,25	0,3 - 0,65

Fuente: Los Autores

Se compara el compost de residuos orgánicos domiciliarios con dos productos utilizados en Alemania y que, por desgracia, en muchas partes de América Latina no son considerados. Las cifras señalan que efectivamente es un producto cuyo contenido en nutrientes para las plantas, es superior a productos más conocidos.

Hay que tener presente, sin embargo, que se trata de un fertilizante orgánico. Intencionalmente se compara aquí con aquellas inyecciones usadas tanto en la producción animal como en la salud humana, llamadas de depósito; vale decir que los nutrientes son entregados a la planta en forma lenta a través de los años.

Los resultados de este estudio muestran que el N alcanza en el suelo un cierto nivel después de transcurrido cierto tiempo (Figura 16). Este concepto indica que si se cambia de un sistema de fertilización a otro, debe hacerse en forma gradual y que las aplicaciones del fertilizante orgánico deben mantenerse durante el tiempo.

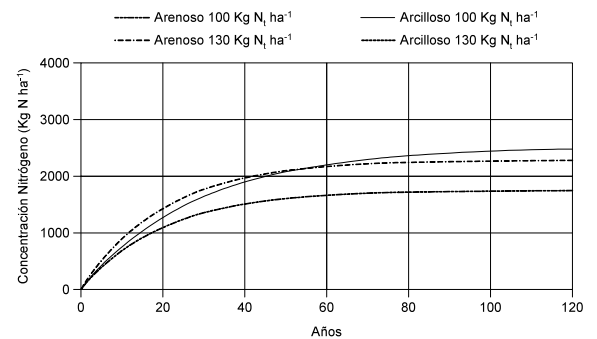


Figura 16. Enriquecimiento en N debido a la fertilización en el tiempo con compost de residuos biológicos en relación con el tipo de suelo y cantidad aplicada (Lawrence, 1992)

Estos resultados son válidos para las condiciones climáticas de Alemania. En otras zonas climáticas, donde la temperatura y el nivel de precipitación cambian, deben considerarse otros tiempos para la mineralización del N. Se supone que para climas más cálidos los tiempos deberían dividirse por el factor 2.

La calidad de un compost está sujeta a la confluencia de numerosos factores, que se esquematizan en la Figura 17.

Se puede observar diferentes niveles en los que se han ordenado diversos factores, algunos de los cuales se relacionan con el material original y el proceso, en tanto que otros lo están con aspectos de calidad y posibilidades de uso.

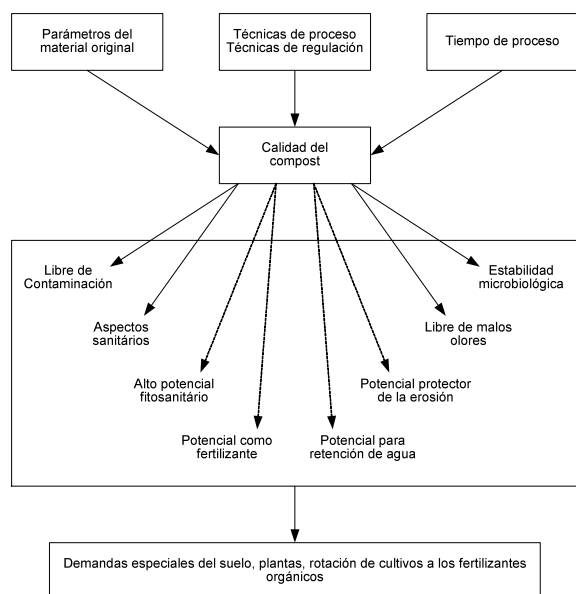


Figura 17. Conceptos básicos para definir y evaluar la calidad del compost (Helm, 1995)

Cuadro 8. Aprovechamiento biológico de residuos agrícolas

Riesgo de incorporar sustancias tóxicas	Nº	Etapa	Productos (ejemplos)
	1	Producción	Paja, guano, cortezas, ramas
	2	Elaboración	Orujo, lodos industriales, residuos de matadero, aserrín, residuos de combustibles renovables
	3	Aprovechamiento por los animales	Residuos de la industria procesadora de alimentos, (bebidas, dulces, conservas etc.)
	4	Producción de comidas y consumo	Cocinas de restaurantes, hospitales, casas, residuos animales (carne, cecinas, huesos) Residuos vegetales (ensaladas)
	5	Procesamiento de residuos sólidos	Residuos biológicos, material verde (prados y podas de setos), compostación privada
	6	Procesamiento de residuos líquidos	Lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas, RILES de industrias y aguas servidas domiciliarias, vaciado de fosas sépticas

Fuente: Los Autores

CALIDAD DEL PRODUCTO

Se ha dicho con relación a las sustancias extrañas y peligrosas, que la calidad del producto final depende en gran medida de la composición del material original. Se señala aquí solamente una tendencia general, ya que sería lógico pensar que la contaminación del material original recolectado en distintos sectores de un país, sea muy diferente a aquel que se recolecta específicamente en Europa, en Santiago u otro lugar.

Un concepto que tal vez no es muy conocido, es el hecho que un compost bien elaborado, es un producto

higiénico, libre de patógenos que pudieran ser peligrosos para el ser humano, libre de semillas o trozos de vegetales que pudiesen germinar. Este aspecto es tanto más importante cuanto más contaminado pudiese ser el producto de origen (Cuadro 9).

En Europa, la materia prima para compost está compuesta básicamente de residuos orgánicos domiciliarios. Por su origen, posible composición, tratamiento, demora en la recolección, es fácil imaginar que se deba poner especial énfasis, en que al mercado sólo llegue material garantizadamente inocuo.

Cuadro 9. Requerimientos de tiempo y temperatura para un control de higiene en plantas de compostaje de residuos orgánicos en Europa

País	Observaciones	Relación temperatura/tiempo
Austria		> 60° C, por lo menos durante 6 días
Dinamarca		> 55° C, por lo menos durante 2 semanas
Alemania	Pilas abiertas	> 55° C, por lo menos durante 2 semanas, o 65° C, por lo menos durante 1 semana
	Pilas cubiertas técnicas en recipientes cerrados	> 60° C, por lo menos durante 1 semana
Italia		> 65° C, durante 2-3 días consecutivos
Suiza		> 55° C, por lo menos durante 3 semanas, o 60° C, por lo menos durante 1 semana

Fuente: Los Autores

NORMAS Y CRITERIOS DE CALIDAD

El compost terminado debe cumplir con ciertas normas de calidad para llegar al mercado con la correspondiente identificación y bajo los mismos

conceptos con que se comercializan otros productos en el ámbito de la producción vegetal, o animal (Cuadro 10). Es un material orgánico higienizado, biológicamente estabilizado con un proceso microbiológico aeróbico terminado.

Cuadro 10. Parámetros de calidad para compost terminado (RAL) (INTEC)

Criterios de calidad	Parámetros exigidos
Higiene	Comprobación fehaciente de la efectividad higienizadora frente a patógenos del proceso de compostación. Ausencia de semillas con capacidad de germinación y partes de plantas que puedan brotar.
Sust. extrañas	Máximo 0,5% en peso de la MS de sust. seleccionables con un diámetro superior a 2 mm.
Piedras	Máximo 5% en peso de la MS de piedras seleccionables con un diámetro superior a 5 mm.
Fitocompatibilidad	Fitocompatibilidad en el ámbito previsto de aplicación. Libre de sustancias fitotóxicas. Que no sea fijador de nitrógeno.
Grado de madurez	Grado IV o V (según LAGA, Boletín N° 10).
Contenido de humedad	A granel max. 45% peso; en sacos max. 35% peso. Para compost con más de 40% de MO, se permite un contenido mayor de agua de acuerdo con el Anexo 6/Norma 2, de las Normas y Procedimientos de Determinación de Calidad.
Materia orgánica	Por lo menos 20% en peso de la M.S., medido como pérdida al incinerar
Contenido en metales pesados	Valores guía (mg/kg MS, referido a compost con 30% MO): Plomo (150) Cromo (100) Níquel (50) Cinc (400) Cadmio (1,5) Cobre (100) Mercurio (1,0)
Tipo de declaración	Tipo (compost terminado) y composición. Granulación. Contenido en sal. Nutrientes totales (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO, CaO). Nutrientes disponibles (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O). Materia orgánica. Peso neto o volumen. Nombre y dirección del productor o comerciante de origen. Indicaciones para su aplicación. Densidad. Valor pH.

Fuente: Los Autores

Nota: MO = Materia orgánica, MS = Materia seca

Se ha podido observar que en el mundo que nos rodea se nace, crece, se multiplica y muere, en actividades, que se desarrollan en forma cíclica y que estos ciclos no son independientes, sino que están íntimamente entrelazados. También se ha visto que el hombre forma parte integral de aquél y

cuál ha sido el efecto de su actividad hasta ahora. Se puede concluir, que se debe hacer algo para revertir el daño causado.

BIBLIOGRAFÍA

- BAYERN-AGENDA 21. 1999. Für eine nachhaltige und zukunftsfähige Entwicklung in Bayern, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), Munich, Deutschland.
- GRAY, K.R., K. SHERMAN, & A.J. BIDDLESTONE. 1971. Review of Composting - Part 2 -The practical Process. *Process Biochemistry*, pag: 22-29.
- HELM, M. 1995. Prozeßführung bei der Kompostierung von organischen Reststoffen aus Haushalten, Schrift 371, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Deutschland.
- INTEC CHILE. 1998. *Manual de Compostaje*, Santiago, Chile.
- KIASA, Kenbourne Ingeniería Ambiental, S.A. 1999. *Folletería de Divulgación*, Santiago, Chile.
- LAWRENCE, J.S. 1992. *Effect of Compost-Fertilizer Blends on Crop Growth in The Science of Composting*, Chapman & Hall, Glasgow.
- PFITER, A. *et al.* citado en BILITEWSKI, B., G. HÄRDTLE & K. MAREK. 1990. *Abfallwirtschaft- eine Einführung*. Springer Verlag, Deutschland.